О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу
Орлова Павла Юрьевича на тему: «РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕН ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 «Геоинформатика»

Актуальность темы диссертации, ее связь с государственными научными программами, степень обоснованности научных положений

Освоение околоземного космического пространства (ОКП), которое активно осуществляется в течение последних пятидесяти лет, является примером эффективного использования инновационных технологий при решении широкого спектра народнохозяйственных задач и задач, связанных с обеспечением обороноспособности страны. В первую очередь, к ним можно отнести технологии глобального позиционирования и навигации, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), телевидения и связи. Однако наряду с наличием положительного эффекта от освоения космического пространства имеет место негативное техногенное воздействие, связанное с образованием «космического мусора» (КМ). На современном этапе развития человеческой цивилизация проблема утилизации промышленных и бытовых отходов переходит из разряда чисто земных проблем в космическое пространство. Актуальность рассматриваемой проблемы нашла свое подтверждение как на международном уровне («Воздействие космической деятельности на окружающую среду», доклад в ООН, 1993; «Правила, направленные на смягчение проблемы космического мусора», Управление ООН по вопросам исследования и освоения космического пространства, 13.02.2010), так и на уровне Российской Федерации (РФ) ("Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу" (утв. Президентом РФ от 19.04.2013 N Пр-906). В связи с этим актуальность темы, представленной диссертационной работы «Разработка и исследование методики геоинформаци-

онного моделирования трехмерных динамических сцен околоземного космического пространства», подтверждается отмеченными выше документами.

Автором на защиту были вынесены следующие научные положения:

1) Понятие ГИС околоземного космического пространства, входящей в новый класс геоинформационных систем, предназначенных для работы с пространственными и атрибутивными данными космических объектов.

2) Методика геоинформационного моделирования, позволяющая визуализировать движение космических объектов и выполнять аналитический мониторинг состояния околоземного пространства.

3) Прототип концептуальной ГИС околоземного космического пространства с интегрированной базой данных космических объектов и программным средством для прогноза положения КО в ОКП на заданный интервал времени.

4) Алгоритм поиска пересечений трасс космических аппаратов для кросс-калибровки целевой аппаратуры дистанционного зондирования Земли.

5) Результаты численных экспериментов по оценке эффективности разработанного прототипа ГИС околоземного космического пространства и выбранной аналитической модели прогнозирования, доказывающие возможность применения данной системы, как для решения задач специалистов космической отрасли, так и в образовательных целях.

Данные положения соответствуют направлениям исследований, изложенным в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р). Здесь в качестве одной из задач отмечена необходимость (п.4.14) «Создать отечественную цифровую платформу сбора, обработки и распространения пространственных данных для нужд картографии и геодезии, обеспечивающую потребности граждан, бизнеса и власти. В рамках ее решения предполагается:

создать инфраструктуру сбора, хранения и обработки пространственных данных, включая сведения о движущихся объектах;

обеспечить возможность автоматизированной обработки, распознава-

ния, подтверждения достоверности и использования пространственных данных для обеспечения выполнения геодезических и картографических работ;

обеспечить разработку и использование отечественных геоинформационных технологий в органах государственной власти и местного самоуправления, государственных компаниях и корпорациях.

Именно к решению этих задач относятся положения, выносимые на защиту, что говорит об их обоснованности и связи с государственными программами. Следует также отметить, что в основе защищаемых положений лежит разработка реализаций сквозных технологий обработки больших данных, нейротехнологий и искусственного интеллекта, систем распределенного реестра, технологий виртуальной и дополненной реальностей.

Достоверность и новизна каждого основного вывода

Основные выводы диссертационной работы состоят в следующем:

1. Проведён анализ тематической литературы и нормативно-правовой документации по вопросам мониторинга и моделирования засорения околоземного космического пространства. Отмечено, что геоинформационное моделирование не применяется как метод исследования, анализа и поддержки принятия решений в данной научной сфере.

2. Сформулировано понятие ГИС ОКП как геоинформационной системы, предметной областью, которой является околоземное космическое пространство, включающее естественные и искусственные космические объекты. Таким образом, данный класс систем предназначен для работы с пространственными и атрибутивными данными космических объектов.

3. По результатам интегральной оценки существующих программных платформ, баз данных и сервисов для моделирования ОКП, сделан вывод, что в настоящее время не существует БД и программных решений, предоставляющих пользователю полный спектр сведений по различным КО и рассматривающих их как трёхмерные пространственные объекты, а наиболее подходящим инструментальным средством для разработки ГИС ОКП является

библиотека Cesium. При этом БД КО The Union of Concerned Scientists на данный момент является основным источником атрибутивных данных.

4. Проведён анализ существующих групп методов и входящих в них моделей прогнозирования движения КО в ОКП. Ввиду отсутствия исходных данных для прогноза, программного кода и технической документации для большинства моделей, аналитическая модель SGP4 является единственным подходящим вариантом для прототипа ГИС ОКП.

5. Создан прототип концептуальной ГИС околоземного космического пространства с интегрированной базой данных космических объектов и сопутствующим программным средством для прогноза положения КО в ОКП и формирования трёхмерных динамических сцен, позволяющий моделировать движение спутников в ОКП в пределах прогнозного сценария, оценивать возможность проведения съёмки аппаратами ДЗЗ. Создана концептуальная модель и прототип сопутствующей базы данных космических объектов, содержащей в себе разнородную информацию, включая сведения о форме и размерах объектов, в том числе и в виде трёхмерных моделей, необходимые для того, чтобы не рассматривать их как точечные.

6. Разработана методика геоинформационного моделирования трёхмерных динамических сцен околоземного космического пространства, включающая в себя получение исходных данных из открытых источников, прогнозирование, визуализацию и аналитический мониторинг состояния ОКП.

7. Разработан алгоритм поиска пересечений трасс космических аппаратов в целях кросс-калибровки целевой аппаратуры (ЦА) ДЗЗ. Он был использован в ходе работ по сопровождению мероприятий кросс-калибровки ЦА ДЗЗ аппаратов «Канопус-В» №5 и «Канопус-В» №6, выполняемых в АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Данный алгоритм был разработан впервые и апробирован в ходе экспериментальных исследований.

8. Показана возможность применения библиотеки Cesium, аналитической модели SGP4, двухстрочных наборов элементов (TLE) и языка CZML для формирования и визуализации трёхмерных динамических сцен в рамках соз-

данного прототипа ГИС ОКП. Стоит отметить, что аналитическая модель SGP4 не позволяет учитывать ориентацию объекта в пространстве.

Первые четыре вывода (1-4) обобщают результаты проведенного аналитического обзора по анализу существующих методов оценки состояния засорения околоземного пространства и инструментальных средств для разработки ГИС ОКП. Достоверность и полнота выполненных исследований подтверждается большим объемов открытых источников, используемых в ходе проведенного анализа.

Однако несколько спорным можно считать положение первого вывода, где автор утверждает, что геоинформационное моделирование не применяется как метод исследования, анализа и поддержки принятия решений в данной научной сфере. Этот вывод автор сам опровергает, раскрывая возможности отечественных геопорталов GeoBox 3D, реализованных на платформе программных решений «Планета СканЭкс». За рубежом аналогичные решения представлены в разработках на базе ArcGIS API for JavaScript (компании ESRI), а также системе Спутникового Центра SSA (англ. Space Situational Awareness) Европейского космического агентства (ЕКА), которая отслеживает информацию о месте и функционировании КО (ИСЗ, КМ). Для решения оперативных и научных задач, связанных с КМ, здесь функционирует система DISCOS. Она включает Базу данных (БД) и информационную систему, реализованную на серверной инфраструктуре Sun и Linux. В ней собрана информация: о запуске, регистрации объекта, описание ракет-носителей, о космических аппаратах (размер, масса, форма, цели миссии, владелец), а также история орбитальных данных для всех отслеживаемых неклассифицированных объектов, которых насчитывается более чем 37 000. Она используется для поддержки ежедневной деятельности бюро по КМ, включая задачи оперативного анализа сближений КО и предотвращении столкновений ИСЗ с КМ.

Следует также отметить, не совсем четкую формулировку второго вывода, где автор вводит новое понятие ГИС ОКП как геоинформационной сис-

темы, предметной областью, которой является околоземное космическое пространство, включающее естественные и искусственные космические объекты. В своих доводах автор отмечает, что в настоящее время за рубежом наблюдается активное развитие различных тематических web-ориентированных геоинформационных систем. Разработчики не обходят стороной и тематику околоземного космического пространства, хотя и не позиционируют их как ГИС. В связи с этим, по результатам проведенного анализа существующих ГИС и сфер их применения, он выделяет самостоятельный класс геоинформационных систем околоземного космического пространства, отличающихся своей предметной областью – Землей как единым целым и ее ближайшим окружением (от верхней границы атмосферы до орбиты Луны), заполненным естественными и искусственными КО, находящимися в постоянном движении, что кардинальным образом отличается от классических ГИС.

Данный вывод автор рассматривает как защищаемое научное положение. Такая постановка является не совсем корректной, так как ГИС являются разновидностью информационно-измерительных систем (ИИС), работающих в системах управления с геопозиционированной информацией. Модули таких комплексов на протяжении развития всех поколений Центров управления ИИС используются при решении задач обеспечения обороноспособности и научных исследований в ОКП как в зарубежных странах, так и РФ одновременно с появлением первых космических аппаратов (КА).

Примером современных реализаций таких систем являются: объединённая система аэрокосмической обороны США и Канады (NORAD), система контроля ОКП войск воздушно-космической обороны РФ. В их задачи входит: ведение каталога КО; мониторинг и прогноз их положения в пространстве; распознавание (самолеты, ракеты, космические аппараты, объекты космического происхождения), оценка опасности космической обстановки и доведение этой информации до потребителя.

В связи с этим, здесь можно говорить о разработке геоинформационной среды контроля ОКП, объединяющей совокупность геопространственных

данных, обеспечивающих построение объектно-ориентированных моделей КО в статике и динамике на основе платформ тематических web-ориентированных геоинформационных систем (геопорталов).

Остальные выводы (5-8) отражают результаты решение конкретных задач, обеспечивающих: создание прототипа концептуальной ГИС ОКП; методику геоинформационного моделирования трёхмерных динамических сцен ОКП; разработку и реализацию алгоритма поиска пересечений трасс космических аппаратов в целях кросс-калибровки целевой аппаратуры ДЗЗ; возможность применения библиотеки Cesium, аналитической модели SGP4, двухстрочных наборов элементов (TLE) и языка CZML для формирования и визуализации трёхмерных динамических сцен в рамках созданного прототипа ГИС ОКП. Достоверность и новизна данных результатов показана представленными результатами проведенных диссертационных исследований.

Ценность для науки проведенной соискателем работы (теоретическая и практическая значимость)

Теоретическая значимость представленной диссертационной работы заключается в разработке методики, объединяющей новые подходы в решении задач:

моделирования положения спутников в ОКП на заданный пользователем момент времени в пределах прогнозного сценария;

анализа и обработки пространственных данных, наиболее полно характеризующих выбранные космические объекты;

оценки возможности проведения съёмки аппаратами ДЗЗ, планировке мероприятий по кросс-калибровке их целевой аппаратуры.

Практическая значимость результатов данной работы определяется возможностью использования ГИС ОКП в задачах по сопровождению мероприятий кросс-калибровки целевой аппаратуры ДЗЗ, моделирования положения ИСЗ на орбите, планирования территорий съемки, в учебных процессах университетов, а также в системе дополнительного школьного образования.

Данный алгоритм был использован в ходе работ по сопровождению мероприятий кросс-калибровки ЦА ДЗЗ аппаратов «Канопус-В» №5 и «Канопус-В» №6, выполняемых в АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Оценивая содержание диссертации можно отметить обоснованность основных научных положений, защищаемых автором. Она подтверждена согласованностью теоретических прогнозных моделей положения ИСЗ на орбите, построенных на основе выполненных расчетов, с результатами, полученными по реальным орбитальным данным.

Положения методики основываются на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, таких как: космическая геодезия, геоинформатика, геоэкология, вычислительная математика, распознавание образов, математическая статистика, моделирование информационно-измерительных систем.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями, которые позволяют расширить области применения геоинформационных систем посредством создания специализированных геопорталов и унифицированных Баз данных, содержащих информацию о космических объектах (ИСЗ, КМ, метеоритах и астероидах).

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы (123 наименований в том числе 27 на английском языке) и трех приложений. Материал изложен на 190 страницах машинописного текста, содержит 25 таблиц и 65 рисунков.

Личный вклад автора. Все результаты диссертационных исследований получены автором лично.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 2 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК, и доложены в 7 докладах на научно-технических конференциях.

Общие замечания по диссертационной работе

Основные замечания к представленной работе носят методический и редакционный характер:

1. В диссертационной работе для достижения поставленной цели автор обосновывает необходимость решения 10 задач, а в качестве объектов защиты выносит на рассмотрение только 5 научных положений, при этом в качестве достигнутых результатов в выводах говорит о 8 результатах.

Анализ предлагаемых 10 задач показывает, что фактически первые шесть из них относятся к обоснованию и разработке требований к методике, что можно рассматривать как одну задачу.

2. Первое научное положение, которое автор выносит на защиту «Понятие ГИС околоземного космического пространства, входящей в новый класс геоинформационных систем, предназначенных для работы с пространственными и атрибутивными данными космических объектов» больше относится к терминологическим категориям, а не к целевым задачам разрабатываемой методики.

3. Не совсем четко аргументированы рассуждения автора, изложенные в подразделе: 2.4 Методы оценки положения космических объектов в околоземном космическом пространстве, где он рассматривает понятие точности применительно к рассматриваемым аналитическим моделям. Для оценки точности используется термин «ошибка», хотя согласно (ГОСТ 8.596-2002. Метрологическое обеспечение измерительных систем), в качестве показателя качества измерений необходимо применять термин «погрешность».

Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны.

В работе приведено достаточное число примеров и расчетов. Она написана грамотным квалифицированным языком и содержит результаты проведенных экспериментальных исследований. По каждому разделу и работе в целом сделаны выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Орлов Павел Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 «Геоинформатика».

Официальный оппонент профессор кафедры геоэкологии
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина,
доктор технических наук,
Аковецкий Виктор Геннадьевич

20 ноября 2019 г.

Подпись В.Г. Аковецкого заверяю
Начальник отдела кадров Ю.Е. Ширяев

- **АКОВЕЦКИЙ ВИКТОР ГЕННАДЬЕВИЧ**
- Доктор технических наук, науки о Земле.
- 20.02.09. Военная геодезия, топография, фототопография и картография.
- Старший научный сотрудник.
- РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.
- 119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1.
- Профессор, кафедра геоэкологии.
- geoinforisk @mail.ru.
- +7 (903) 755-32-07;

Список основных публикаций по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет:

- Аковецкий, В.Г. Геоинформационные аспекты управления рисками устойчивого развития территорий / В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев, В.А. Гутников // Градостроительство. – 2015. – № 5 (39). – с. 8 – 19.
- Аковецкий, В.Г. Аэрокосмические технологии ДЗЗ в системе подготовки специалистов нефтегазового комплекса / В.Г. Аковецкий // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. – 2015. – № 4 (20). – с. 39 – 48.
- Аковецкий, В.Г. Инженерные изыскания и геоинформационная среда в задачах управления рисками проектов нефтегазового комплекса / В.Г. Аковецкий // Инженерные изыскания. – 2015. – № 9. –с. 54 – 62.

- Аковецкий, В.Г. Технологические аспекты цифровой экономики: от геоинформационной среды проекта через управляющее решение к управляющему воздействию / В.Г. Аковецкий, В.А. Гутников // Градостроительство. – 2016. – № 5 (45). – с. 7 – 18.
- Аковецкий, В.Г. Космические наблюдения и геоинформационная среда в задачах управления проектами нефтегазового комплекса/ В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев, Е.Е. Михедова // Труды II Всероссийской научно-практической конференции «Сварка и безопасность», г. Якутск. – 10-11 октября 2017. – с.420-437.
- Аковецкий, В.Г. Космические мониторинговые наблюдения нефтепроявлений морских акваторий: геологические и геоэкологические аспекты / В.Г. Аковецкий // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 4 (23). – с. 1 – 14.
- Аковецкий, В.Г. Методы и технологии космических мониторинговых наблюдений аварийных разливов нефти на морских акваториях / В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев, В.С. Баранчуков // VI Всероссийская конференция «Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем», Красноярск, 18 – 21 сентября 2018 г. Материалы и доклады. – Красноярск : Издательство Сибирского федерального университета, 2018. – с. 13 – 22.
- Аковецкий , В.Г. Модели управления геоэкологическими рисками инфраструктурных проектов: от априорного знания к управляющему воздействию/ В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев //РАН Сибирское отделение, ОИФПТС, Труды VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, Том 1, г. Якутск, 3-7 июля 2018 . – с. 97-110.
- Аковецкий, В.Г. Геоинформационная среда дистанционных методов геоэкологических исследований объектов нефтегазового комплекса / В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев, Е.Р. Матросова // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2019. – № 1 (294). – С. 5 – 16.